

II-31

傾斜面の融雪水移動量の推定

専修大学北海道短期大学 正会員 山梨光訓

1. はじめに

融雪水の移動現象を明かにし、融雪流出機構における融雪水量と融雪流出量の関係を見極める目的でその推定計算をおこなってみた。このことは融雪流出の解析にあたって融雪流出量と地下水流出量の分離などの際に融雪水の流出への寄与量と、寄与する場を明示するといった同時に複数の事象がからんでいることを把握すべき問題で1方向からは難解と考えられる。そこで、たとえば、融雪期の小河川流出流量の変化から融雪水の流出強度を逆推定する。また、積雪の融雪量とその移動方向によって流出に寄与する積雪面積、その時間変化を捉え、傾斜面における融雪水の移動量を実測し、検証を試みるものである。

2. 傾斜面における融雪水移動

1) 融雪過程と融雪水量の観測

融雪流出における表面あるいは中間流出成分としての融雪水の量的把握を積雪観測によって行ない、その検証として河道近傍の融雪水の補足を行なう。積雪観測は傾斜のある草地と林地に設けた試験区で行なった。観測項目である積雪相当水量は直径10 cm、長さ20 cmのサンプラーによって計測した。積雪は積雪期にあらかじめ散布した色素によって上下2層に区分されている。観測ではこの2層の積雪相当水量を測定した。融雪過程を週ごとの積雪相当水量の変化として把握する。

河川近傍での融雪水の補足は実際の流域で融雪期に現地観測をする。融雪が起こっているのが明瞭な日中に河道を踏査し、メスシリンダーで積雪先端から落下する融雪水を直接計測する。あるいは、積雪下層に沿ったり、土壌面に達した融雪水は導水鉄板を用いて捕捉する。

2) 傾斜面の融雪過程

傾斜面における融雪¹⁾は傾斜面の向きによって状況が異なる。たとえば、写真1、写真2は北海道内でも多雪地域に属する美唄の丘陵性山地に発達した東西に伸びる谷の融雪過程を示す。写真1は融雪期前期、

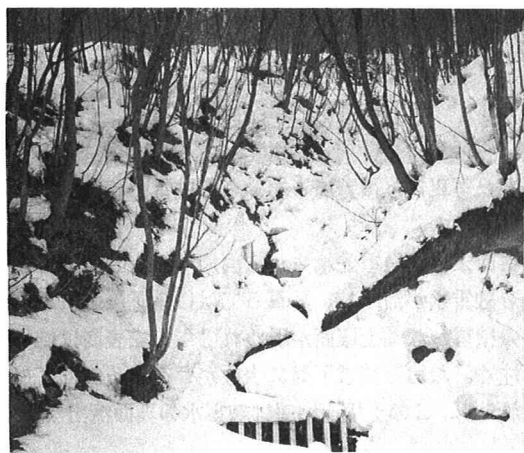


写真1 融雪期前期



写真2 融雪期後期

An Estimating the Volume of Snowmelt Water Movement on Slopes

by Mitsunori YAMANASHI

写真2は融雪期後期といってよい。融雪期前期には南向き斜面の融雪が顕著で引き続き北向き斜面の融雪が盛んになる。したがって、融雪流出に寄与する融雪水の供給は融雪期の前期には主として南向き斜面から、後期には主として北向き斜面からあるものとする。

3) 積雪層における融雪水移動

試験区の傾斜面において積雪層内の融雪水の移動²⁾を染料による着色によって確認すると写真3のように積雪層の密度の異なる臨界面に沿うものと、これに直角な流跡がみられる。すなわち、融雪水の移動には積雪成層に平行、直角な2方向の流動成分の存在することがわかる。積雪層は積雪過程に形成された多数の層から成る。これらが時間の経過に伴う温度、積雪の重さ、水分の移動の影響で各層の粒径の変化（密度変化）、氷板の形成など、融雪水の移動経路の形成を行なうものとする。また、実流域での傾斜面での染料の流動痕跡からみても積雪層中を傾斜方向に融雪水が移動するものとする。

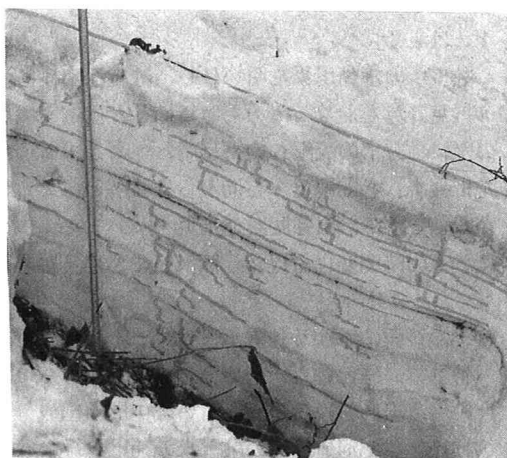


写真3 積雪層内の融雪水移動

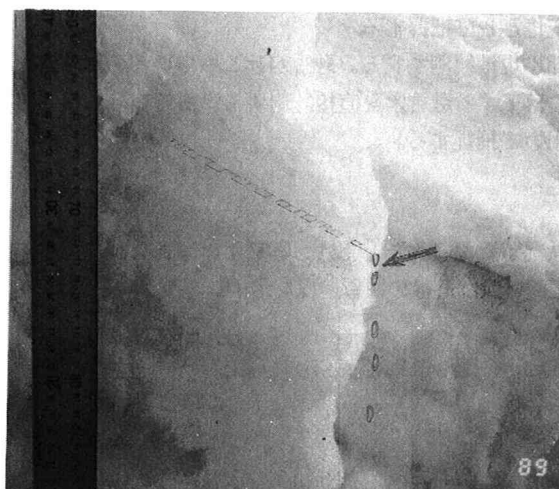


写真4 積雪先端からの融雪水移動

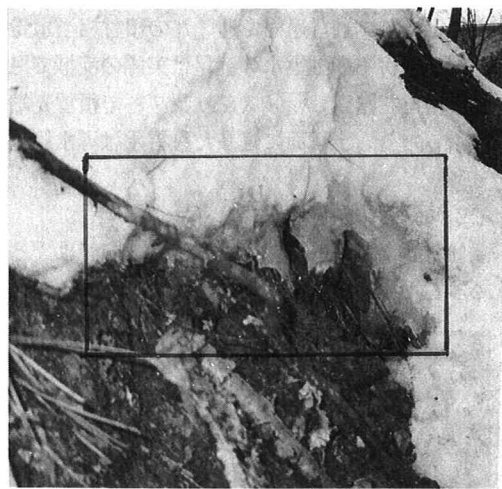


写真5 積雪層下端からの融雪水移動

4) 傾斜面末端（積雪先端）の融雪水移動

写真1、2のような小流域では融雪期に融雪水が傾斜面末端（積雪先端）から河川へ流出している状況を確認することができる。写真4では積雪上層部の先端から融雪水が流出し、写真5では積雪下層の接地面に発達した氷板から融雪水の流出がみられる。河川近傍の積雪がなく土壌面が現われても土壌表層は飽和した状態にあるため融雪水はこの表層を流下して河川へ注ぐ。なお、積雪下面に氷板が存在する斜面では露出した土壌中に凍結土層が保存されるほどの温度環境もあり、この土壌凍結層は融雪水の表面流出を促す。

3. 融雪水の移動量の推定

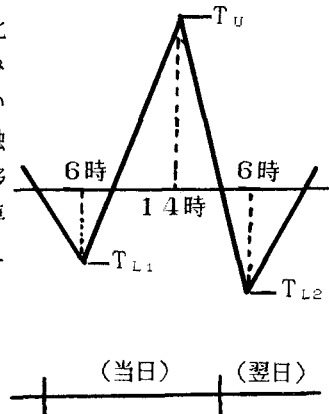
1) 気温融雪にかかわる有効時間

融雪にかかわる気温は、ほぼ0℃以上とみられる。札幌周辺の平地とその近傍では2月末から3月上旬

に日最高気温がこの状態になり始め、積雪層の内部も大きな性状の変化（雪温と密度の一樣化）がみられるようになる。さらに気温の上昇がみられる頃から積雪相当水量の減少（融雪量）が明瞭になってくる。いま、この日融雪量を融雪水の移動量として時間流量に換算するために融雪量（積雪層からの融雪水の流出：融雪水の移動量+蒸発量+地下水移動量・・・ここでは1.3)の考え方から、前1項は2、3項より十分卓越すると考える）に発生に要した時間（有効時間）をつぎのように考える。

（仮定）

気温の時間変化は三角波形（図1）の日周期性をもち、日最低気温 T_{L1} （当日）、 T_{L2} （翌日）・日最高気温 T_U （℃）の生起時刻も6時・14時とする。



（有効時間の算定）

図1 気温の変化

まず、気温の0℃以上の時間を融雪時間 U_S として次式のように按分して求める。

$$U_S = 8 \cdot T_U / (T_U - T_{L1}) + 16 \cdot T_U / (T_U - T_{L2}) \quad (\text{hr}) \quad (1)$$

ここで、融雪時間すべてが融雪量発生に要するわけではない。積雪層内で融雪しても、再び凍結して積雪中に残存する期間においては無効な時間となってしまう。この時間数（無効時間 U_B ）は融雪量（積雪相当水量の減少）変化と対応するように検討していく。

表1 積雪相当水量の変化 (cm/day)

日付	1層				2層				全層			
	A1地点	A2地点	A3地点	平均	A1地点	A2地点	A3地点	平均	A1地点	A2地点	A3地点	平均
1988/02/25 ~ 1988/03/03	0.2	0.0	0.3	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.0	0.3	0.0	0.3	0.2
1988/03/03 ~ 1988/03/11	0.0	0.3	0.1	0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	0.3	0.0	0.1
1988/03/11 ~ 1988/03/17	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
1988/03/17 ~ 1988/03/24	-0.1	-0.8	-0.2	-0.4	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.9	-0.2	-0.4
1988/03/24 ~ 1988/03/31	-0.7	-0.4	-1.0	-0.7	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.7	-0.4	-1.1	-0.7

日付	C1地点 C2地点 C3地点 平均				C1地点 C2地点 C3地点 平均				C1地点 C2地点 C3地点 平均			
	C1地点	C2地点	C3地点	平均	C1地点	C2地点	C3地点	平均	C1地点	C2地点	C3地点	平均
1988/02/25 ~ 1988/03/03	0.1	0.3	0.5	0.3	0.1	-0.1	-0.5	-0.1	0.2	0.2	0.0	0.2
1988/03/03 ~ 1988/03/11	-0.1	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.1	0.1	-0.1	-0.3	0.1	0.2	0.0
1988/03/11 ~ 1988/03/17	-0.3	0.1	0.2	0.0	0.3	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.0
1988/03/17 ~ 1988/03/24	0.0	0.3	0.6	0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.2
1988/03/24 ~ 1988/03/31	-0.4	-0.1	-0.9	-0.5	-0.1	0.0	0.3	0.1	-0.5	-0.1	-0.5	-0.4
1988/03/31 ~ 1988/04/07		-1.1	-1.0	-1.0		-0.1	0.0	-0.1		-1.2	-1.0	-1.1

したがって、有効時間 U_A は

$$U_A = U_S - U_B \quad (\text{hr}) \quad (2)$$

となる。

2) 融雪水の移動量の推定

観測された融雪量から融雪水移動量 Q_D を推定する。融雪量 D (mm/day)と有効時間 U_A より

$$Q_D = D / 60 U_A \quad (\text{mm/min}) \quad (3)$$

積雪層から単純平均流量として、 Q_D が U_A 時間流出してくる。

あるいは、幅 W (mm)、長さ L (mm)の矩形斜面からの融雪水移動量（流出）として

$$Q_D = DWL / 60000 U_A \quad (\text{cc/min}) \quad (4)$$

の平均流量が見込まれる。

3) 傾斜面における融雪水移動量

積雪調査結果に基づいて傾斜面における融雪水移動量の算定を試みる。積雪調査試験区は北大植物園内の草地と林地の傾斜面Aと傾斜面Cで、ともに北向きである。計算対象として1988年2月25日から4月7日までの6週間では積雪量の変化は表1のようである。融雪は上層から下層へおこっていくので積雪層を2層に区分した場合、下層は融雪後期まで変化が僅少である。上層で傾斜面AとCの融雪量の値が大きくなるのは3月17日からの週とみられるので、以後の週には融雪に有効時間が生じると判断する。表2は3月から4月初旬の気温の変化から求めた融雪時間と週平均値、および有効時間を示す。3月下旬には融雪量5～7mm/dayで有効時間3時間ほどとみて融雪水移動量は(3)式より $Q_D=0.03\sim 0.04\text{mm/min}$ と推定される。

4) 流域における融雪水量の移動量の推定

傾斜面の拡張として小流域における融雪水量の移動量を推定する。このような場合、積雪層からの流出が融雪流出量として短時間に応答するような小河川で、単純な河道とほぼ2つの傾斜面に分割できるような図2のような地形をもつ。融雪水の移動が起こって積雪層から流出する状況を(4)式により求める。実流域との比較を考慮して斜面長 $L=10\text{m}$ 、幅 $W=1\text{m}$ を仮定値とした場合は、融雪水移動量は $Q_D=300\sim 400\text{cc/min}$ と推定できる。いっぽう、滴下する融雪水を河道に沿って実測した結果³⁾によれば単位幅あたり1200cc/minが求められている。推定値は、この値よりやや小さいが実際的にはほぼ満足できる値であると考ええる。融雪水の移動は傾斜面方向にあり、その量からみて発生(寄与)域も河道周辺とみることができる。

4. おわりに

融雪流出の成因をその時間と量について検討を行なった。積雪相当水量の変化から融雪水の移動量として融雪流出量を推定してみたところ、実測による融雪水移動量と結びつき、融雪流出過程を傾斜面方向の融雪水移動として表現できたと考えられる。ただし、融雪が気温融雪によるものとして簡便な気温変化近似による融雪の有効時間を仮定している点、河道における融雪量の流入の実態把握の不足、異なる谷の向きの融雪量など、吟味すべき課題が残されている。引き続き、調査をすすめていきたい。

参考文献

- 1) 山梨光訓；傾斜面の融雪過程，北海道の農業気象，No.43，1991.
- 2) 山梨光訓；融雪流出の出水過程における融雪水の流向，土木学会北海道支部論文報告集，No.44，1988.
- 3) 山梨光訓；小流域の融雪流出解析(I)，土木学会北海道支部論文報告集，No.41，1985.

表2 融雪時間と有効時間

(1988年3月)

日	気温(℃)		融雪時間 (hr)(平均)	有効時間 (hr)
	最高	最低		
3/1	0.5	-4.7	2.9	
2	-0.1	-3.3	-0.8	
3	3.1	-2.8	9.3	4.8 -9.5
4	-1.3	-6.7	-5.4	4.8 -9.5
5	0.5	-7.3	1.3	4.8 -9.5
6	-1.1	-9.3	-2.7	4.8 -9.5
7	-1.2	-11.6	-4.2	4.8 -9.5
8	-1.7	-7.1	-5.9	4.8 -9.5
9	2.2	-9.8	8.4	4.8 -9.5
10	3.0	-5.0	18.0	4.8 -9.5
11	9.9	-0.2	26.0	14.3 0.0
12	6.2	1.2	24.1	14.3 0.0
13	4.1	-0.8	15.8	14.3 0.0
14	7.3	-3.1	14.0	14.3 0.0
15	2.4	-6.7	6.8	14.3 0.0
16	0.5	-5.8	2.2	14.3 0.0
17	4.2	-4.5	11.4	17.6 3.3
18	6.5	-4.7	22.9	17.6 3.3
19	5.8	0.8	21.2	17.6 3.3
20	2.5	-2.0	13.5	17.6 3.3
21	3.9	-1.9	13.8	17.6 3.3
22	3.4	-3.5	20.9	17.6 3.3
23	5.8	0.2	19.5	17.6 3.3
24	1.5	-2.5	13.4	16.4 2.1
25	5.8	-0.8	19.4	16.4 2.1
26	4.2	-1.7	14.2	16.4 2.1
27	4.3	-3.7	18.3	16.4 2.1
28	5.1	-0.6	19.3	16.4 2.1
29	4.9	-1.6	15.8	16.4 2.1
30	5.1	-3.1	14.5	16.4 2.1
31	5.8	-3.5	16.3	23.4 9.1
4/1	7.2	-2.4	24.3	23.4 9.1
2	6.9	0.9	26.2	23.4 9.1
3	9.7	0.4	24.9	23.4 9.1
4	7.0	0.3	22.9	23.4 9.1
5	11.0	-0.7	24.4	23.4 9.1
6	4.2	0.6	27.5	23.4 9.1
7	4.9	0.5	20.4	23.4 9.1
8	7.7	-1.9		

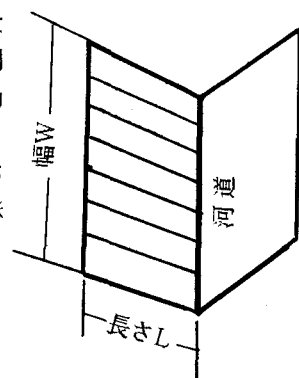


図2 流域地形